

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Тольяттинский государственный университет»

Институт энергетики и электротехники

Кафедра «Электроснабжение и электротехника»

13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления подготовки, специальности)

Электроснабжение  
(направленность (профиль))

## БАКАЛАВРСКАЯ РАБОТА

на тему «Электроснабжение производства головки блока и блока цилиндров для двигателей «Н4» ОАО «АВТОВАЗ»

Студент(ка)

Р.С. Шумкин

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Руководитель

Д.Л. Спиридонов

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

Консультанты

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

(И.О. Фамилия)

(личная подпись)

**Допустить к защите**

Заведующий кафедрой д.т.н., профессор В.В. Вахнина \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2016 г.

Тольятти 2016

## **Аннотация**

В квалификационной работе представлена система электроснабжения производства головки блока и блока цилиндров для двигателей «Н4» ОАО «АвтоВАЗ». Приведены основные потребители и их технические параметры. Рассчитана величина нагрузок электроприемников и используемая мощность от энергосистемы. Рассчитаны токи КЗ.

Рассчитано и выбрано электрооборудование ЗРУ понизительной подстанции ГПП-2 110/10/10 кВ. Выбрана схема электроснабжения. Выбрана схема внутрицехового электроснабжения данного производства, рассчитана система освещения. Выбраны магистральные и радиальные шинопроводы и коммутационная аппаратура на 0,4 кВ

Пояснительная записка к квалификационной работе выполнена на 58 листах формата А4 и содержит 2 рисунка, 20 таблиц.

Графическая часть представлена на 6 чертежах формата А1.

## Содержание

Введение.....	6
1 Характеристика объекта проектирования .....	6
2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху .....	7
2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей .....	7
2.2 Определение электрических нагрузок освещения.....	8
2.3 Определение суммарных электрических нагрузок по цеху .....	12
3 Выбор числа, мощности и типов цеховых трансформаторов с учетом компенсирующих устройств .....	16
4 Выбор центра нагрузок и установка цеховых трансформаторов.....	23
5 Выбор оборудования внутрицеховой сети .....	26
6 Расчет токов короткого замыкания и выбор защитной аппаратуры .....	33
7 Выбор оборудования.....	42
7.1 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства 10 кВ подстанции ГПП-2 110/10/10 кВ .....	42
8 Релейная защиты ГПП-2 110/10/10 кВ.....	49
8.1 Выбор уставок на секционных и вводных выключателях .....	52
Заключение .....	57
Список используемых источников.....	58

## **Введение**

Производство автомобильной техники большой сектор промышленности, что обеспечивает занятость около 5 млн. человек из числа трудоспособного населения.

Ежегодно на дорогах Российской Федерации появляются более 100 тыс. новых машин, требования к качеству производства которых, повышаются с каждым годом. Производство легковых автомобилей сильно зависит от надежности системы электроснабжения и от качества электрической энергии.

На сегодняшний день на территории Российской Федерации существуют несколько предприятий по производству легковых автомобилей. Одним из крупнейших предприятий является ОАО «АвтоВАЗ», который расположен в Самарской области в городе Тольятти и состоит из нескольких множеств корпусов промышленных площадок.

Одним из новейших производств данного предприятия, которое планируется к вводу в 2016 году, является производство современных двигателей «Н4» для легковых автомобилей на платформе «В0». Объем производства по предварительным расчетам может достигать 450 тыс. штук в год. Данные мотором будут комплектоваться автомобили Альянса и перспективные модели АвтоВАЗа – Lada «Vesta» и Lada XRAY. Так как работа производства не возможна без электроэнергии, то актуальной задачей является создание надежной системы электроснабжения производства.

Цель данной бакалаврской квалификационной работы – рационально выполнить систему электроснабжения производства головки блока и блока цилиндров для двигателей «Н4».

Для решения поставленной цели необходимо произвести расчет нагрузок данного производства, выбрать схему электроснабжения и выбрать электросиловое оборудование, ТП-10/0,4 кВ, сечение кабельных линий и шинопроводов, рассчитать оптимальную систему освещения.

## **1 Характеристика объекта проектирования**

Производство по производству головки блока и блока цилиндров для двигателей «Н4» планируется разместить в корпусе 01/26 8 вставка, где располагалось производство легкового автомобиля «Калина».

Электроснабжение данного корпуса осуществляется от ГПП-2 ОАО «АвтоВАЗ», которая запитана по двум кабельным линиям 110 кВ от ТЭЦВАЗа, протяженностью 0,8 км. На ГПП-2 установлены два двухобмоточных трансформатора с расщепленной обмоткой ТРДН-63000 110/10/10 кВ, суммарной мощностью 126000 кВА. Трансформаторы Т-1 и Т-2 питают четыре секции шин РУ-10кВ, от которых, в свою очередь, осуществляется питание производственных цехов.

Внутризаводское распределение электроэнергии осуществляется на напряжение 10 кВ, в основном по радиальной схеме.

Электроснабжение корпусов осуществляется от шин 10 кВ ГПП-2 по кабельным линиям, которые проложены по эстакадам и кабельным лоткам. Данные кабельные линии питают распределительные пункты и ТП, которые расположены непосредственно в корпусах. К шинам РУ - 10 кВ присоединены цеховые трансформаторы, понижающие напряжение до 0,4 кВ. Электропитание вспомогательных производств осуществляется по магистральной схеме.

Низковольтные батареи конденсаторов установлены на стороне 0,4 кВ цеховых ТП.

Электроснабжение электроприемников в корпусе 01/26 планируется осуществить от систем шин ШМА и ШРА.

## 2 Определение ожидаемых электрических нагрузок по цеху.

### 2.1 Определение электрических нагрузок от силовых потребителей.

Все электроприёмники, за исключением кран-балки, приведены к ПВ = 100%. Для кран-балки определяем его установленную мощность:

$$P_{ном} = P_{наст} \cdot \sqrt{ПВ} = 5 \cdot \sqrt{0,6} = 3,87 \text{ кВт} \quad (2.0)$$

Для каждого ЭП по [2., с. 5, таб. 1] выписываем соответствующие коэффициенты использования ( $k_u$ ) и коэффициенты мощности ( $\cos \varphi$ ).

Рассчитываем суммарную активную мощность:

$$P_{H.\Sigma} = P_{НОМ} \cdot n \quad (2.1)$$

Определяем коэффициент силовой сборки:

$$m = \frac{P_{H.МАКС}}{P_{H.МИН}} \quad (2.2)$$

$$m = \frac{45}{1,8} = 25 \Rightarrow m > 3$$

Определяем среднюю активную и реактивную нагрузки:

$$P_C = K_H \cdot P_{H.\Sigma} \quad (2.3)$$

$$Q_C = P_C \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.4)$$

Определяем средний коэффициент использования и  $\operatorname{tg} \varphi_{cp}$  и  $\cos \varphi_{cp}$ :

$$K_{H.CP} = \frac{\sum P_C}{\sum P_{H.\Sigma}}, \quad (2.5)$$

$$K_{H.CP} = \frac{145,18}{796,94} = 0,1822$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{\sum Q_C}{\sum P_C}, \quad (2.6)$$

$$\operatorname{tg} \varphi_{cp} = \frac{194,66}{145,18} = 1,34 \Rightarrow \cos \varphi_{cp} = 0,224$$

Определяем эффективное число электроприёмников:

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot P_{H\Sigma}}{P_{MAX}}, \quad (2.7)$$

$$n_{\text{э}} = \frac{2 \cdot 796,94}{45} = 35 \text{ шт.}$$

По [1., с. 8, таб. 3] определяем коэффициент максимума:  $K_M = 1,34$

Определяем расчётные активную и реактивную нагрузки трёхфазных электроприёмников:

$$P_p = K_M \cdot P_C, \quad (2.8)$$

$$P_p = 1,34 \cdot 145,18 = 194,54 \text{ кВт,}$$

$$Q_p = Q_C, \quad (2.9)$$

$$Q_p = 194,66 \text{ квар.}$$

Определяем полную расчётную нагрузку:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} \quad (2.10)$$

$$S_p = \sqrt{194,54^2 + 194,66^2} = 275,207 \text{ кВА}$$

Определяем расчётный ток для электроприёмников рассчитываемого узла нагрузки:

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} \quad (2.11)$$

$$I_p = \frac{275,207}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 418,13 \text{ А}$$

## 2.2 Определение электрических нагрузок освещения

Расчет освещения для каждого участка предприятия ведётся по методу коэффициента использования светового потока.

Определяем площадь помещения:

$$S = a \cdot b \quad (2.12)$$

$a$  - длина помещения, м;  $b$  - ширина помещения, м.

Определяем индекс помещения:

$$i = \frac{S}{(H - h) \cdot (a + b)} \quad (2.13)$$

$H$  - высота цеха, м;

$h$  - высота рабочей поверхности.

По [3., с. 72, таб. 7] определяем коэффициент запаса:  $K_3 = 1,5$

По [3., с. 72, таб. 6] определяем коэффициенты отражения потолка, стен и пола:

Потолок: 70%; Стены: 50%; Пол: 20%

На новом производстве головки блока и блока цилиндров для двигателей «Н4» ОАО «АвтоВАЗ», предлагается вместо традиционных ДРЛ светильников установка современных люминесцентных светильников ReflectaEcoPower 2x54W. Данные светильники будут установлены на шинопровод ШОС, которые будут крепиться к шинопроводам ШМА и ШРА.

Предполагаемые к установке светильники занесем в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 - Наименование светильников

Цеха	Тип светильников	Количество светильников	Мощность светильника Р, кВт	cosφ	Мощность светильников Р, кВт
1 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	190	0,108	0,9	47.5
2 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	204	0,108	0,9	51
3 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	194	0,108	0,9	48.5
4 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	196	0,108	0,9	49
5 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	294	0,108	0,9	73.5
6 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	189	0,108	0,9	47.25
7 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	200	0,108	0,9	50
8 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	199	0,108	0,9	49.75
9 пролет	ReflectaEcoPower 2x54W	196	0,108	0,9	49
Итого		1862		0,9	465.5



Определяем требуемое количество светильников:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot K_3}{\eta \cdot n \cdot \Phi_{\text{л}}} \quad (2.14)$$

$E$  - требуемая горизонтальная освещённость, лк;

$S$  - площадь цеха, м<sup>2</sup>;

$K_3$  - коэффициент запаса;

$\eta$  - коэффициент использования;

$n$  - количество ламп в светильнике;

$\Phi_{\text{л}}$  - световой поток одной лампы.

Расчеты проводим в программе DiaLux.

Выбранные светильники (таблица 1) удовлетворяю всем требованиям, и обеспечивают норму освещенности цехов согласно СНиП 23.05.95\* .

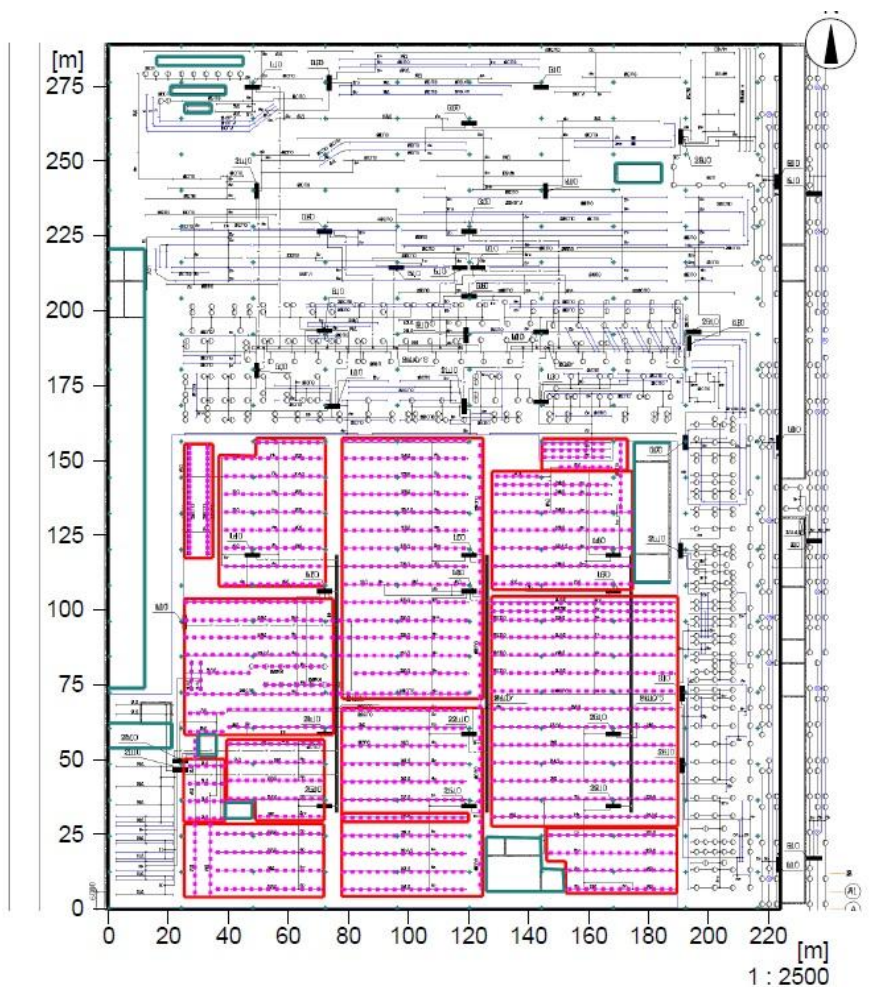


Рисунок – 1 Система освещения цеха по производству двигателей для платформы «Н4»

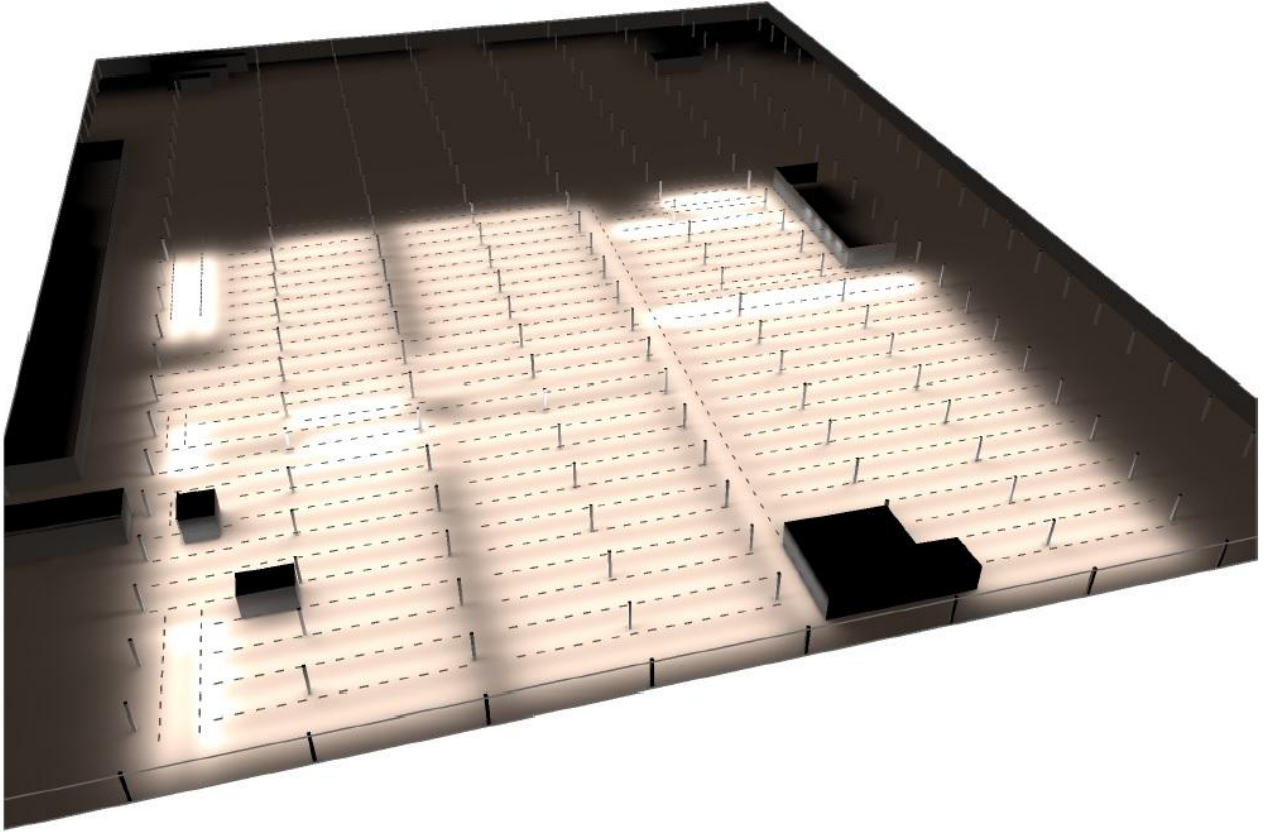


Рисунок 2 – 3D проекция освещенности цеха по производству головки блока и блока цилиндров для двигателей «Н4»

### 2.3 Определение суммарных электрических нагрузок по цеху

Определяем суммарные активную и реактивную мощности:

$$P_{\Sigma} = P_P + P_{осв}, \quad (2.17)$$

$$P_{\Sigma} = 4064.375 + 465.5 = 4529.875 \text{ кВт},$$

$$Q_{\Sigma} = Q_P + Q_{осв}, \quad (2.18)$$

$$Q_{\Sigma} = 3798 + 279.3 = 4077.3 \text{ квар.}$$

Определяем полную суммарную нагрузку:

$$S_{\Sigma} = \sqrt{P_{\Sigma}^2 + Q_{\Sigma}^2}, \quad (2.19)$$

$$S_{\Sigma} = \sqrt{4529.875^2 + 4077.3^2} = 6094.6 \text{ кВА.}$$

Определяем суммарный ток:

$$I_{\Sigma} = \frac{S_{\Sigma}}{\sqrt{3} \cdot U_H}, \quad (2.20)$$

$$I_{\Sigma} = \frac{6094.6}{\sqrt{3} \cdot 0.38} = 9259.79 \text{ А.}$$

Наименования ЭП, их количество и паспортные данные, а также результаты всех расчётов по приведённым выше формулам сведены в таблицу 2.1.

Таблица 2.1 – Расчёт силовых нагрузок

№ п/п	Наименование узла питания или группы электроприёмников	Количество ЭП, n	Установленная мощность, приведённая к ПВ=100%		m	K <sub>И</sub>	tgφ	Средняя нагрузка		Эффективное число ЭП, n <sub>Э</sub>	K <sub>М</sub>	Расчётная нагрузка			I <sub>р</sub> , А
			Одного ЭП P <sub>н.макс</sub> P <sub>н.мин</sub> , кВт	Всех ЭП P <sub>н</sub> , кВт				P <sub>с</sub> , кВт	Q <sub>с</sub> , квар			P <sub>р</sub> , кВт	Q <sub>р</sub> , квар	S <sub>р</sub> , кВА	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
	Станок для намотки сварочной проволоки	24	7	168		0.3	2.29	50.4	115.41						
	Горизонтально-расточной станок	1	7.5	7.5		0.2	2.29	1.5	3.435						
	Вертикально-фрезерный станок	5	10	50		0.2	2.29	10	22.9						
	Полуавтомат сварочный	42	6	252		0.2	2.29	50.4	115.41						
	Выпрямитель сварочный	42	30	1260		0.4	1.33	504	670.32						
	Трансформатор сварочный	42	28	1176		0.4	0.62	470.4	291.64						
	Пресс гидравлический	18	16	288		0.2	1.33	57.6	76.608						
	Пресс кривошипный	45	50	2250		0.2	1.33	450	598.5						
	Пресс листогибочный	3	15	45		0.2	1.33	9	11.97						
	Фрезерно-отрезной автомат	1	10.33	10.33		0.3	1.73	3.099	5.3612						
	Фрезерно-отрезной станок	2	7.5	15		0.3	1.73	4.5	7.785						
	Токарно-карусельный станок	4	125	500		0.2	2.29	100	229						
	Токарный станок	6	22	132		0.2	2.29	26.4	60.456						
	Вертикально-свер.	3	7.5	22.5		0.2	2.29	4.5	10.305						

Продолжение таблицы 2.1

Сверлильный станок	3	5.5	16.5		0.2	2.29	3.3	7.557						
Радиально-сверлильный станок	8	11	88		0.2	2.29	17.6	40.304						
Склад механизированный	1	2.5	2.5		0.3		0.75	0						
Плоскошлифовальный станок	4	15	60		0.4	1.33	24	31.92						
Фрезерный станок	3	7.5	22.5		0.2	1.73	4.5	7.785						
Токарный станок	4	11	44		0.2	1.73	8.8	15.224						
Комплекс оборудования для резки листа	1	14.35	14.35		0.4	1.33	5.74	7.6342						
Ножницы гильотинные	15	10	150		0.2	2.29	30	68.7						
Ножницы кривошипные	20	22.5	450		0.2	2.29	90	206.1						
Рольганг	3	11	33		0.3	1.73	9.9	17.127						
Пресс-ножницы комбинированные	2	5.5	11		0.2	1.33	2.2	2.926						
Машина плазменной резки	3	30	90		0.3	1.73	27	46.71						
Установка индукционная	1	10	10		0.5	-	5	-						
Выпрямитель	1	56	56		0.4	1.33	22.4	29.792						
Машина листогибочная	4	428	1712		0.3	1.73	513.6	888.528						
Станок для гибки профилей из труб	1	7.7	7.7		0.5	1.73	3.85	6.6605						
Машина трубогибочная	4	150	600		0.3	1.73	180	311.4						
Установка для автоматической сварки продольных швов	1	10	10		0.3	1.73	3	5.19						
Станок шлифовальный	3	6	18		0.4	1.73	7.2	12.456						

Продолжение таблицы 2.1

Станок для торцовки труб	1	5	5		0.2	1.73	1	1.73						
Сушильный шкаф ЯК048	8	50	400		0.6	0.75	240	180						
Сушильный шкаф ОМ048	4	50	200		0.6	0.75	120	90						
Кран-штабелер стеллажный г/п 1т	3	7	21		0.5	1.73	10.5	18.165						
Кран мостовой г/п 20/5т	4	66	264		0.5	1.73	132	228.36						
Кран мостовой г/п 30/5т	1	97	97		0.5	1.73	48.5	83.905						
Кран мостовой г/п 10/10т	1	40	40		0.5	1.73	20	34.6						
Кран мостовой г/п 5т	3	26	78		0.5	1.73	39	67.47						
Кран мостовой г/п 10т	5	40	200		0.5	1.73	100	173						
Кран мостовой г/п 10/5т	1	40	40		0.5	1.73	20	34.6						
Кран мостовой г/п 50/12,5т	1	90	90		0.5	1.73	45	77.85						
Кран мостовой г/п 45/10т	1	80	80		0.5	1.73	40	69.2						
Печь для запечки пресс колец	2	15	30		0.7	0.75	21	15.75						
Отжиговая печь	5	16	80		0.7	0.75	56	42						
Кромкогибочный станок	3	10	30		0.2	1.33	6	7.98						
Круглопильный станок	4	10	40		0.2	1.73	8	13.84						
Станок для холодностыковой сварки	3	8	24		0.3	1.73	7.2	12.456						
Итого	361	2-428	11131	>3	0.3	1.4	3672	5153.6	53	1.2	4260	5153	6686	9651
Итого по цеху								465.5	53	1.2	4260	5153	6686	9651

### 3 Выбор числа, мощности и типов цеховых трансформаторов с учетом компенсирующих устройств

3.1 Значения экономически целесообразной установленной мощности ТП определим по формулам:

$$S_{э,тп} = 1,45\sqrt{\sigma^2}, \quad (3.1)$$

$$M_э = 1,65 \cdot 10^{-2}\sqrt{\sigma^2} \quad (3.2)$$

где  $\sigma = S_p / F_{мкр}$  - удельная плотность нагрузки цеха, кВА/кв.км;  $S_p$  - мощность потребителей предприятия, кВА;  $F_{мкр}$  - площадь, кв.км.

Расчет  $S_{э,тп}$  и  $M_э$  приведен в таблице 3.1.

По условию нормального режима работы:

$$N = \frac{S_p}{k_3 S_{нт}} \quad (3.3)$$

где  $S_p$  - нагрузка цеха, кВА;

$S_{нт}$  - мощность трансформаторов в цеху, кВА;

$k_3 = 0,7$  - их коэффициент загрузки.

Проверка выбранных трансформаторов по действительному коэффициенту загрузки:

$$k_{э,транс} = \frac{S_p}{N \cdot S_{нт}} \quad (3.4)$$

С учетом отключения одного из трансформаторов выражение примет вид:

$$k_{э,а} = \frac{S_p}{NS_{нт}} \cdot \frac{N - 1 + k_{I-II}}{N - 1}, \quad (3.5)$$

где  $k_{I-II}$  - коэффициент резерва трансформаторной мощности

Результаты расчетов сведем в табл.3.1.

### 3.2 Расчёт компенсации реактивной мощности

Для пролета №1 трансформаторного корпуса:

$$P_{P\Sigma} = 2260,57 \text{ кВт}, \quad Q_{P\Sigma} = 1328,17 \text{ квар}, \quad S_{P\Sigma} = 4190,03 \text{ кВА}$$

Рассмотрим установку КБ с трансформатором ТМЗ-1600/10

По [5., с. 64, таб. П1-4] определяем:

$$P_{xx} = 1,3 \text{ кВт}; \quad P_{кз} = 5,4 \text{ кВт}; \quad K_3 = 0,9;$$

$$U_{кз} = 5,5 \%; \quad S_H = 400 \text{ кВА}; \quad i_0 = 3,0 \%$$

Определяем число трансформаторов:

$$N_T = \frac{P_{P\Sigma}}{K_3 \cdot S_H} \tag{3.6}$$

$$N_T = \frac{2600,57}{0,9 \cdot 3200} = 0,72$$

К установке принимаем 1 трансформатор

Потери в трансформаторе:

$$\Delta P_{T\Sigma} = N_T \cdot (P_{xx} + K_3^2 \cdot P_{кз}) = N_T \cdot \Delta P_T \tag{3.7}$$

$$\Delta Q_{T\Sigma} = N_T \cdot (U_{кз}^2 + K_3^2 \cdot U_{кз}) \cdot \frac{S_H}{100} = N_T \cdot \Delta Q_T \tag{3.8}$$

$N_T$  - количество трансформаторов;

$\Delta P_T$  - потери активной мощности одного трансформатора, кВт;

$\Delta Q_T$  - потери реактивной мощности одного трансформатора, квар.

$$\Delta P_{T\Sigma} = 1 \cdot 6,5 = 6,5 \text{ кВт},$$



$$\Delta Q_{T\Sigma} = 1 \cdot 37,7 = 37,7 \text{ квар.}$$

Определяем расчётную нагрузку цеха с учётом потерь в трансформаторе:

$$P_P = P_{P\Sigma} + \Delta P_{T\Sigma} \quad (3.9)$$

$$P_P = 260,57 + 6,5 = 2670,07 \text{ кВт}$$

$$Q_P = Q_{P\Sigma} + \Delta Q_{T\Sigma} \quad (3.10)$$

$$Q_P = 1328,17 + 37,7 = 1365,87 \text{ квар}$$

Реактивная мощность в часы минимума нагрузки для машиностроения:

$$Q_{\min} = Q_P \cdot 0,53 \quad (3.11)$$

$$Q_{\min} = 1365,87 \cdot 0,53 = 693,91 \text{ квар}$$

Значения реактивной мощности в часы максимума энергосистемы:

$$Q'_{\text{э1}} = Q_P - 0,7 \cdot Q_{CD} \quad (3.12)$$

$$Q''_{\text{э1}} = \alpha \cdot P_P \quad (3.13)$$

$$\alpha = 0,28; \quad Q_{CD} = 0.$$

$$Q'_{\text{э1}} = 365,87 \text{ квар}$$

$$Q''_{\text{э1}} = 0,28 \cdot 365,87 = 102,44 \text{ квар}$$

Принимаем меньшее из значений:

$$Q_{\text{э1}} = 102,44 \text{ квар}$$

Значения реактивной мощности в режиме наименьших нагрузок:

$$Q'_{\text{э2}} = Q_{\min} + Q_{\kappa} \quad (3.14)$$

$$Q'_{\text{э}2} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{КД}} = Q_{\text{min}} - (Q_P - Q_{\text{э}1}), \quad (3.15)$$

$$Q_{\text{к}} = 0,$$

$$Q'_{\text{э}2} = 193,91 + 0 = 193,91 \text{ квар},$$

$$Q'_{\text{э}2} = 193,91 - (365,87 - 102,44) = -69,51 \text{ квар}$$

Принимаем большее из значений:

$$Q_{\text{э}2} = 193,91 \text{ квар}$$

Определяем суммарную мощность компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot Q_P - Q_{\text{э}1}, \quad (3.16)$$

$$Q_{\text{ку. min}} = Q_{\text{min}} - Q_{\text{э}2}, \quad (3.17)$$

$$Q_{\text{ку. max}} = 1,1 \cdot 365,87 - 102,44 = 300,01 \text{ квар},$$

$$Q_{\text{ку. min}} = 193,91 - 193,91 = 0.$$

Все КУ должны быть регулируемые.

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 6 кВ в сеть напряжением до 1 кВ и не должна компенсироваться:

$$Q_{\text{э}н} = Q_{\text{э}1} - (Q_P - Q_{\text{P}\Sigma}), \quad (3.18)$$

$$Q_{\text{э}н} = 102,44 - (365,87 - 328,17) = 64,74 \text{ квар}.$$

Реактивная мощность, которая должна быть передана из сети 10 кВ в сеть напряжением до 1 кВ:

$$Q_T = \sqrt{(V_T \cdot K_3 \cdot S_n)^2 - P_{\text{P}\Sigma}^2} \quad (3.19)$$

$$Q_T = \sqrt{(0,9 \cdot 400)^2 - 260,57^2} = 248,4 \text{ квар}$$

Мощность КУ, устанавливаемых на стороне до 1 кВ:

$$Q_{\text{КУ.н}} = Q_{\text{P}\Sigma} - Q_T, \quad (3.20)$$

$$Q_{KV.n} = 328,17 - 248,4 = 79,77 \text{ квар.}$$

Мощность КУ, которые могут быть установлены на стороне 10 кВ:

$$Q_{KV.g} = Q_{ку.мах} - Q_{KV.n}, \quad (3.21)$$

$$Q_{KV.g} = 300,01 - 79,77 = 220,25 \text{ квар.}$$

Установка КУ на стороне 10 кВ нецелесообразна.

На стороне до 1 кВ принимаем к установке одно регулируемое КУ типа УК2-0,38-75-У3 мощностью 275 квар.

3.2.2 Приведённые затраты на БК до 1 кВ:

$$Z_{KV.n} = E \cdot K_y \cdot \left( \frac{U}{U_{БК}} \right)^2 \cdot Q + C_0 \cdot P_{БК} \cdot Q + E_p \cdot K_p \cdot N_{KV} \quad (3.22)$$

$E$  - суммарные ежегодные отчисления;

$$E = 0,223 ;$$

$C_0$  - удельная стоимость потерь активной мощности;

$$C_0 = 4800 \text{ руб/кВт};$$

$U$ ,  $U_{БК}$  - относительные номинальные напряжения сети и конденсаторов в пункте их присоединения;

$$U_{БК} = 1;$$

$$U = 1;$$

$K_p$  - стоимость регулирующего устройства;

$$K_p = 16000 \text{ руб};$$

$P_{БК}$  - удельные потери в конденсаторах;

$$P_{БК} = 4,5 \text{ кВт/Мвар};$$

$Q$  - генерируемая источником РМ;

$$Q = 0,075 \text{ Мвар};$$

$K_y$  - удельная стоимость БК;

$K_y = 960$  тыс. руб/Мвар;

$E_p$  - величина отчислений;

$E_p = 0,27$ .

$$Z_{KY.H} = 0,223 \cdot 960 \cdot \left(\frac{1}{1}\right)^2 \cdot 0,075 + 4,8 \cdot 4,5 \cdot 0,075 + 0,27 \cdot 16 \cdot 1 = 21,996 \text{ тыс. руб.}$$

Таким образом, установка компенсирующего устройства на стороне 0,4 кВ не целесообразна.

Таблица 3.1 - Выбор числа и мощности цеховых трансформаторов и числа отходящих линий 0,4 кВ

Пролет	Расчетная активная мощность	Расчетная реактивная мощность	Полная мощность	Площадь	Экономически целесообразная мощность и количество трансформаторов		Установленная мощность тр-ов	Число трансформаторов $N$		Коэффициент загрузки	
					$S_{\text{Э.П.}}, \text{кВА}$	$M_{\text{Э.П.}}$		Расчитано	Принято	Норм.	Авар.
	$P_p, \text{кВт}$	$Q_p, \text{квар}$	$S_p, \text{кВА}$	$F, \text{м}^2$			$S_{\text{Э.П.}}, \text{кВА}$	$M_{\text{Э.П.}}$	$S_{\text{НТ}}, \text{кВА}$	$N_{\text{ТР.Р}}$	$N_{\text{ТР}}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	9	11	12
1 пролет	473,2	785,35	916,89	8222,2	272,53	3,101	400	2	2	0,756	1,309
2 пролет	1208,1	2750,9	3004,4	8222,2	560,94	6,383	630	3	3	0,777	1,344
3 пролет	738,302	258,7	782,31	8222,2	467,55	5,320	630	2	2	0,585	1,013
4 пролет	736,22	245,6	776,10	8222,2	609,51	6,935	630	2	2	0,689	1,193
5 пролет	1260,872	1383,2	1871,6	8222,2	693,69	7,893	630	4	4	0,711	1,231
6 пролет	455,91	423,2	622,05	8222,2	392,33	4,464	400	2	2	0,686	1,187
7 пролет	576,94	349,6	674,59	8222,2	451,97	5,143	630	2	2	0,679	1,175
8 пролет	393,09	605,1	721,57	8222,2	312,38	3,554	400	2	2	0,670	1,159
9 пролет	554,69	227,4	599,49	8222,2	529,45	6,024	400	2	2	0,669	1,157

## 4 Выбор центра нагрузок и установка цеховых трансформаторов.

4.1 Расчетные нагрузки на шинах 10 кВ определяются:

$$P_p = k_{\text{совм}} \sum_{\forall i} P_{p,i} , \quad (4.1)$$

где  $k_{\text{совм}}$  - коэффициент совмещения максимумов нагрузок;

$\sum P_{p,i}$  - сумма расчетных нагрузок  $i$ -тых потребителей.

Реактивная мощность определяется [1,9] :

$$Q_p = P_p \operatorname{tg} \varphi_3 , \quad (4.2)$$

где  $\operatorname{tg} \varphi_3$  - соответствует коэффициенту мощности;  $\cos \varphi_3 = 0,92$  - на шинах 10 кВ центров питания [1].

Необходимая мощность компенсирующих устройств на шинах 10 кВ центра питания равна

$$Q_k = \sum_{\forall i} Q_{p,i} - Q_p , \quad (4.3)$$

где  $Q_{p,i}$  - расчетная реактивная нагрузка  $i$ -го потребителя.

Расчеты сведены в таблицу 4.1.

Центр электрических нагрузок определяется по формулам:

$$x_{\text{ц}} = \frac{\sum P_{p,i} x_i}{\sum P_{p,i}} , \quad y_{\text{ц}} = \frac{\sum P_{p,i} y_i}{\sum P_{p,i}} , \quad (4.4)$$

где  $x_{\text{ц}}$ ,  $y_{\text{ц}}$  - координаты центра электрических нагрузок;  $P_{p,i}$  - расчетная нагрузки  $i$ -го потребителя;  $x_i$ ,  $y_i$  - координаты нагрузок  $i$ -го потребителя.

Координаты  $x_i$ ,  $y_i$  определяются как центр тяжести плоской геометрической фигуры по конфигурации  $i$ -го потребителя на генплане района.

Радиус окружности, изображающей на картограмме суммарную мощность потребителя, вычисляется из пропорции  $\pi r_i^2 m = P_{pi}$

$$r_i = \sqrt{\frac{P_{pi}}{\pi m}}, \quad (4.5)$$

где  $P_{pi}$  - расчетная мощность  $i$ -того потребителя, кВт;  $m$  - масштаб изображения мощности на картограмме, кВт/мм<sup>2</sup>.

Таблица 4.1 - Расчет нагрузок на шинах 10 кВ

Потребитель	$P_{pi}$ , кВт	$Q_{pi}$ , квар	$x_i$ , км	$y_i$ , км	$P_{pi}x_i$ , кВт·м	$P_{pi}y_i$ , кВт·м	$r_i$ , мм
1	2	3	7	8	9	10	11
1 пролет	473,2	785,35	3,125	1,875	1274,84	1153,42	10
2 пролет	1208,1	2750,9	3,125	0,625	3864,57	3496,52	16
3 пролет	738,302	258,7	4,625	0,625	2913,36	2635,90	15
4 пролет	736,22	245,6	4,625	1,875	3887,31	3517,09	16
5 пролет	1260,87	1383,2	3,125	3,125	4719,89	4270,38	15
6 пролет	455,91	423,2	1,875	3,125	2312,05	2091,85	14
7 пролет	576,94	349,6	0,625	3,125	3380,10	3058,19	15
8 пролет	393,09	605,1	4,625	4,625	1834,05	1659,38	13
9 пролет	554,69	227,4	1,875	1,875	3106,73	2810,85	14
ИТОГО, с учетом	121200	27701				0,1635	60
$k_{совм}=0,7$ и $\cos\varphi=0,92$	6425	2345					
Полная мощность $S_p$ , кВА $\cos\varphi$	0,920						

К установке трансформаторов мощностью  $S_H = 1000$  кВА данные занесем в таблицу 4.2

Таблица 4.2 - Данные по установки трансформаторов в пролетах

Пролет	Ном. мощность тр-ов $S_H$	Число трансф-ов $N$	Коэффициент загрузки
1 пролет	ТМЗ-1600/10	1	0,8
2 пролет	ТМЗ-1600/10	1	0,7
3 пролет	ТМЗ-1600/10	-	-
4 пролет	ТМЗ-1600/10	-	-
5,6,7 пролет	ТСЗЛ-2500/10	1	0,7
8,9 пролет	ТСЗЛ-2500/10	1	0,7

Данный вариант установки трансформаторов является наиболее оптимальный.

4.2 Источником питания корпуса 01/26 является ГПП-2 1 - 110/10/10 кВ.

В данной работе электроснабжение корпуса 01/26 осуществляется ГПП-2 - 110/10/10 кВ. Распределительный пункт РП-2 подключен к фидерному выключателю к двум фидерным выключателям 10 кВ ГПП-2 через кабельные линии. В данных ячейках установлен комплект релейной защиты и автоматики, которая обеспечивает надежную работу ячейки КРУ и своевременное отключение выключателя отходящей линии при аварийных режимах, что обеспечит оптимальную и надежную работу данной линии. От распределительного устройства РП-2 через кабельные линии запитываются цеховые трансформаторные подстанции 10/0,4 кВ. От трансформаторов отходят магистральные шины ШМА, от которых запитываются цеховые электроустановки. Трансформаторы ТП защищены от токов короткого замыкания автоматическими выключателями. От распределительного щита КТП-10/0,4 кВ через кабели питаются два вводно-распределительных устройства Питание низковольтных магистральных и распределительных сетей, осуществляется на напряжении 380/220 В. Силовые и осветительные установки получают питание от общего трансформатора по отдельным сетям.



## **5 Выбор оборудования внутрицеховой сети.**

Для расчёта токов КЗ на разных участках сети внутреннего электроснабжения нужно знать параметры всех элементов сети. Предварительный выбор шинопроводов, кабельных линий, автоматов и прочего оборудования делаем по расчётным значениям номинальных токов.

5.1.1 Шинопровод - это компактный пакет изолированных друг от друга медных или алюминиевых шин в негорючей полимерной изоляции в стальном кожухе, который является альтернативой кабельной.

5.1.2 Основные преимущества использования шинопроводов для передачи и распределения электроэнергии:

### 1) Простота планирования

Применение шинопроводов позволяет проектировать системы электроснабжения на стадии, когда известно только предварительное размещение нагрузок, до окончательного завершения плана расположения машин, механизмов и других потребителей.

### 2) Быстрый и простой монтаж.

Шинопроводы поставляются с высокой степенью заводской готовности, имеют все необходимые приспособления и аксессуары, и полностью готовы к монтажу. Подключение потребителей осуществляется очень быстро. Для монтажа сборочных единиц нет необходимости в специальном обучении. Возможен монтаж на стены, потолки и другие несущие конструкции. Комплекс механических приспособлений и блокировок исключает возможность неправильного монтажа и присоединения сборочных единиц и потребителей.

### 3) Надёжная передача и распределение энергии.

Специально разработанная конструкция шинопровода, в особенности узлов присоединения по питающей стороне, стороне потребителя, стыковые моноблочные соединения, ответвительные и другие устройства; автоматически

соблюдаемые при монтаже усилия затяжки и положения узлов гарантируют надёжность передачи и распределения электроэнергии.

#### 4) Гибкость системы

На объектах с уже существующими электроустановками перемещение отдельных потребителей или добавление новых, передача электроэнергии в новые или реконструированные помещения представляют серьёзную финансовую и техническую проблему. Особенности и преимущества модульной конструкции шинопроводов позволяют просто, быстро и экономично решить эти проблемы, так как все части системы легко разбираются и собираются. При необходимости можно легко переместить систему шинопровода в другое место. Любая модернизация может проводиться без остановки производства, а многие операции - даже без снятия напряжения.

#### 5) Долговечность и простота обслуживания.

Шинопроводы в нормальном режиме эксплуатации практически не нуждаются в обслуживании в течение всего срока службы, составляющего 25-30 лет.

#### 6) Современный дизайн.

Современнейшие технологии изготовления шинопроводов придают системе и помещениям, где они установлены, современный внешний вид. Имеется возможность окраски шинопроводов в цвета по желанию заказчика в соответствии с единым дизайном помещений.

#### 7) Экономичность

Отпадает необходимость использования несущих кабель-каналов, необходимость разделки и обработки кабелей, снижается количество квалифицированных рабочих и продолжительность их работы, что, в свою очередь, существенно снижает себестоимость монтажа.

#### 8) Пожарная безопасность, низкая пожарная нагрузка.

Шинопровод не горюч, не передаёт и не распространяет горения. В случае превышения предела и времени температурной стойкости и возгорания покрасочных и изоляционных материалов, пожарная нагрузка на объект

(количество и токсичность выделяемых при горении веществ, т.е. дыма, газа, твёрдых фракций и пр.) от шинопровода минимальна и не сопоставима с кабелями.

#### 8) Лёгкая теплоотдача

За счёт применения технологии «сэндвич», т.е. плотной укладки изолированных проводников без воздушного зазора и их соприкосновения друг с другом и с корпусом, играющим в этом случае роль радиатора охлаждения, обеспечивается лёгкая теплоотдача в атмосферу тепла, выделяемого при протекании тока .

#### 9) Безопасность персонала.

Кожух шинопровода служит защитным (РЕ) проводником, исключаяющим попадание персонала под действие электрического тока. В сочетании с механической прочностью и пожарной безопасностью, применение шинопровода обеспечивает максимально комфортные и безопасные условия работы.

Рассмотрим несколько типов шинопроводов.

Компания Schneider Electric выпускает шинопроводы с 50-х годов прошлого столетия под торговыми марками Telemecanique (Европа), Normabarre (Франция) и I-Line Square D (США). Шинопроводы производятся на заводах во Франции, Бельгии, Бразилии и США.

Шинопровод Canalis KS спроектирован для распределения электроэнергии средней мощности с большой плотностью расположения отводов в промышленных и коммерческих зданиях (фабриках, заводах, выставочных залах, супермаркетах и т.д.).

#### Общая информация:

Два типоразмера образуют всю гамму номиналов: ширина 54 см для номиналов 100, 160, 250 и 400 А, и ширина 113 см для номиналов 500, 630, 800 и 1000 А

Алюминиевые проводники с полосками посеребренного биметалла в местах соединений и отводных розеток;

Степень защиты IP55;

Проводники 3P + N + PE;

Кожух — высокотемпературная оцинкованная сталь, покрашенная в белый цвет лаком RAL9001.

Основные преимущества:

1) Все элементы шинопровода Canalis KS не содержат галогенов. При пожаре Шинопровод Canalis KS не выделяет дыма и токсичных газов.

2) Контакты покрыты серебром по технологии Copral-inside (использование кремния для обеспечения долговечности контакта). Качество контакта не изменяется на протяжении всего срока эксплуатации продукта.

3) Шинопровод Canalis легок и прост в обращении благодаря использованию алюминиевых проводников. Для аналогичных номиналов шинопровод с медными проводниками весит на 40% больше. Легкий вес шинопровода Canalis KS упрощает монтаж и значительно сокращает затрачиваемое на него время. Требуется меньшее количество монтажников и ресурсов, независимо от типа установки.

4) Высокая степень защиты Canalis KS означает, что он может устанавливаться во всех типах зданий.

- IP55 гарантирует защиту шинопровода от брызг и пыли.

- IK08 гарантирует прочность шинопровода (стойкость к ударам).

- IPxxD обеспечивает абсолютно безопасные условия работы для обслуживающего персонала.

- Canalis KS выдерживает спринклерные тесты, гарантирующие работоспособность при вертикальном и горизонтальном распылении воды в течение 90 минут.

5) Полная гамма отводных блоков:

- гамма покрывает любые потребности от 25 до 400А.

- возможность защиты с помощью автоматических выключателей или предохранителей.

б) Интеллектуальные отводные блоки:

- они контролируют установку для предотвращения перегрузок и обеспечения продолжительной работоспособности.

- они могут измерять потребляемую электроэнергию для точного учета (определения затрат для каждого потребителя).

Следующие шинопроводы, это шинопроводы Siemens BD2, 160-1250 А

BD2 система спроектирована для применения на токи от 160 до 1250А. Применяется в больших зданиях и на всех промышленных предприятиях, где необходимо обеспечить питание нагрузки средней величины, а также для питания систем BD01 и CD-K.

Отводные блоки подключения имеют защиту от неправильного подключения к линии BD2, это обеспечивает безопасную работу обслуживающего персонала.

При возникновении пожаров противопожарные вставки смогут обеспечить защиту от дальнейшего распространения газов, паров и препятствовать притоку воздуха через линию шинопровода.

Тестирование функциональной устойчивости показало, что при пожаре критически важные потребители (например, система аварийного освещения и т.п.) определенное время будут обеспечены электроэнергией.

С помощью использования секций различной длины, секций с различным углом поворота, гибких соединительных элементов, Вы оптимально адаптируете систему в архитектуру здания.

Всего лишь два типоразмера на ряд из девяти номинальных токов позволяет оптимизировать склад и упростить проектирование.

Действительно низкая пожарная нагрузка позволяют значительно сократить ущерб, причиняемый огнем.

### Основные преимущества

1) Высокая гибкость

-алюминиевая и медная система до 1250А

- гибкие соединительные элементы до 800А
- свободная установка дополнительных аппаратных блоков
- стандартно три различные системы конфигурации шин

## 2) Прозрачная интеграция в производство

Коммуникационные возможности системы шинопроводов для регистрации потребления электроэнергии, дистанционного управления и коммутации, например, для управления системами освещения.

### 5.1.3 Выбор распределительных шинопроводов:

Магистральный шинопровод ШМ выбираем по расчётному суммарному току из таблицы 2.

$$I_p = 539,59 + 283,3 = 822,89 \text{ A} \leq I_H = 1250 \text{ A}$$

К установке принимаем магистральный шинопровод ШМА4 – 1250.

По расчётным данным выбираем:

распределительный шинопровод ШР1 марки ШРА4 – 630;

распределительный шинопровод ШР2 марки ШРА4 – 400

Мостовой кран запитан через троллейный шинопровод:

По формулам 2.10 и 2.11 определяем полную мощность и ток данного

ЭП:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2} = \sqrt{36 + 108} = \sqrt{144} = 12 \text{ кВА}$$

$$I_p = \frac{S_p}{\sqrt{3} \cdot U_H} = \frac{12}{\sqrt{3} \cdot 0,38} = 18,23 \text{ A}$$

Выбираем троллейный шинопровод марки ШТР4 – 100

Таблица 5.1 - Шинопроводы

Пролет	Номинальная мощность трансформаторов $S_H$	Число трансф-ов $N$	Тип шинпровода	Номинальный ток, А
1 пролет	ТМЗ-1600/10	1	ШМА4 – 1250	1250
2 пролет	ТМЗ-1600/10	1	ШМА4 - 1250	1250
3 пролет	ТМЗ-1600/10	-	ШМА4 – 1250	1250
4 пролет	ТМЗ-1600/10	-	ШМА4 – 1250	1250
5 пролет	ТСЗЛ-2500/10	1	ШМА4 – 1250	1250
6 пролет	ТСЗЛ-2500/10	1	ШМА4 – 1250	1250
7 пролет	ТСЗЛ-2500/10	-	ШМА4 – 1250	1250
8 пролет	ТМЗ-1600/10	1	ШМА4 – 1250	1250
9 пролет	ТМЗ-1600/10	1	ШМА4 – 1250	1250

Аналогично произведем выбор кабельных линий для питания трансформаторных подстанций, полученные результаты занесем в таблицу 5.2.

Таблица 5.2 – Сечение кабельных линий 10 кВ

Но мер РП	Расстояние от ГПП-2 до РП	Расчетная потребляемая мощность, $S_p$ , кВА	Расчетный ток, $I_p$ , А	Расчетное сечение, $F$ , мм <sup>2</sup>	Выбранное сечение $F_{ст}$ , мм <sup>2</sup>	Допустимо длительный ток $I_{доп}$ , А
ТП 157	2500	2422,2	133,34	95,24	3×95	265
ТП 151	1100	7342,7	404,22	288,74	3×185	400
ТП 153	1756	7385,9	406,60	290,43	3×150	355
ТП 151	1230	8967,8	493,68	352,63	3×185	400
ТП 157	2378	4392,9	241,83	172,74	3×150	355

Выбираем кабели трехжильные марки ААШв. Выбранные сечения кабельной сети удовлетворяют условиям проверки по нагреву длительно допустимым током и по потере напряжения.

## 6 Расчет токов короткого замыкания и выбор защитной аппаратуры

6.1 Расчет токов короткого замыкания осуществляется на основании исходных данных элементов электротехнической системы или комплекса. В выпускной квалификационной работе расчет токов короткого замыкания осуществляется для точек, указанных на рисунке 6.1.

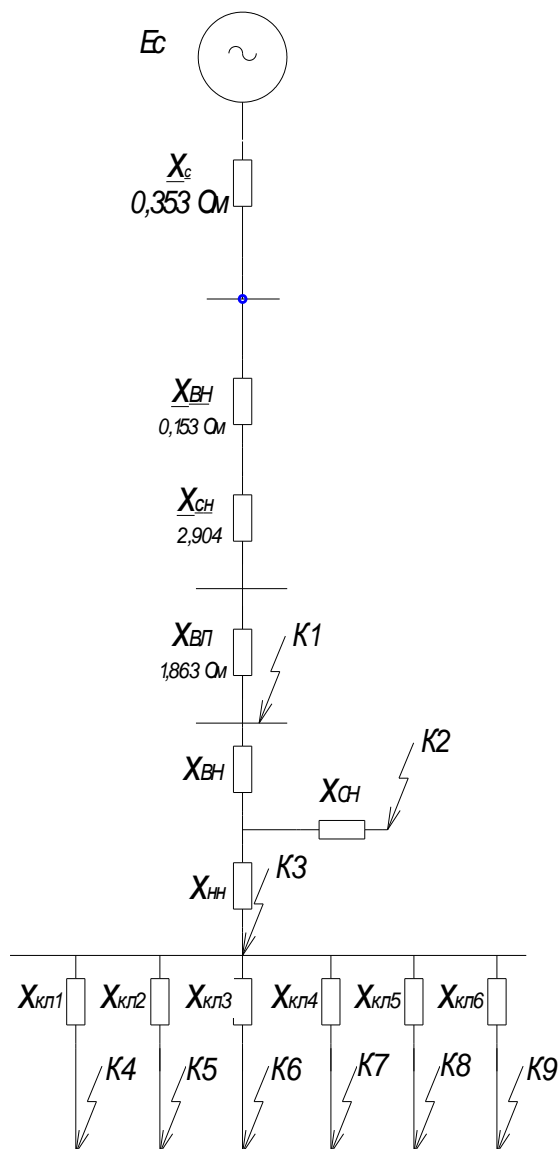


Рисунок 6.1 - Расчетная схема замещения



6.2 В основе расчетов положена методика согласно РД 153-34.0-20.527-98 «Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования».

При определении сопротивления короткого замыкания (реактанса) воспользуемся формулой:

$$X_{HH.MIN} = U_{HH}^2 \cdot \left[ \frac{X_{C.MAX}}{U_{CP.BH} \cdot (1 - \Delta U)} + \frac{U_{CP.BH} \cdot (1 - \Delta U) \cdot U_{K.MIN}}{100 \cdot S_{H.TP}} \right]; \quad (6.1)$$

$$X_{HH.MAX} = U_{HH}^2 \cdot \left[ \frac{X_{C.MIN}}{U_{CP.BH}^2} + \frac{U_{K.MAX}}{100 \cdot S_{T.TP}} \right], \quad (6.2)$$

где,  $U_{HH}$  - номинальное напряжение трансформатора стороны НН, 10,5 кВ;

Токи трехфазного КЗ на шинах НН подстанции определяются по выражению:

$$I_{K.HH.MAX}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot X_{HH.MIN}}; \quad (6.3)$$

$$I_{K.HH.MIN}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot X_{HH.MAX}}. \quad (6.4)$$

Токи трехфазного КЗ на шинах ВН подстанции определяются по выражению:

$$I_{K.BH.MAX}^{(3)} = I_{K.HH.MAX}^{(3)} \frac{U_{HH}}{U_{CP} \cdot (1 - \Delta U)}; \quad (6.5)$$

$$I_{K.BH.MIN}^{(3)} = I_{K.HH.MIN}^{(3)} \frac{U_{HH}}{U_{BH.MAX}}. \quad (6.6)$$

Токи КЗ на фидерах, отходящих от шин подстанции:

$$Z_l = R_{каб} + j(X_{каб} + X_{HH}). \quad (6.7)$$

Ток трехфазного короткого замыкания определяется по выражению, кА

$$I_{KЗ}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z}, \quad (6.8)$$

где  $U_{na}$  - напряжение в максимальном или минимальном режиме по таблице 6.1., кВ;

$Z$  - полное сопротивление до точки к.з. в максимальном или минимальном режиме, Ом.

Определим сопротивление энергосистемы в шинах 110 кВ подстанции ГПП-2-1:

$$X_{MAXC} = \frac{U_C^2}{S_{K3}} = \frac{126^2}{5000} = 3.1752 \text{ Ом};$$

$$X_{MINC} = \frac{U_C^2}{S_{K3}} = \frac{110^2}{1500} = 8.066 \text{ Ом};$$

Найдем сопротивления трансформатора ТРДН-63000/110, находящегося на подстанции.

Для первой, второй, третьей и четвертой секции шин 10 кВ:

$$X_{HH3.MIN} = \frac{10,5^2}{110} \cdot \left[ \frac{5,864}{115 \cdot (-0,16)} + \frac{115 \cdot (1 - 0,16) \cdot 9,52}{100 \cdot 63} \right] = 0,519 \text{ Ом};$$

$$X_{HH3.MAX} = 10,5^2 \cdot \left[ \frac{18,976}{126^2} + \frac{19,59}{100 \cdot 63} \right] = 0,728 \text{ Ом}.$$

Определяем токи к.з. на шинах 10 кВ:

На первой секции:

$$I_{K.HH1.MAX}^{(3)} = \frac{U_{HH1}}{\sqrt{3} \cdot X_{HH1.MIN}} = \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 0,351} = 10.374 \text{ кА};$$

$$I_{K.HH1.MIN}^{(3)} = \frac{U_{HH1}}{\sqrt{3} \cdot X_{HH1.MAX}} = \frac{16,3}{\sqrt{3} \cdot 0,67} = 5.435 \text{ кА}.$$

Найденные токи к.з. приводим к стороне ВН трансформатора по (6.6) и (6.7):

От первой и второй секции 10 кВ:

$$I_{K.VH1,2.MAX}^{(3)} = I_{K.HH1.MAX}^{(3)} \frac{U_{HH1}}{U_{CP} \cdot (1 - \Delta U)} = 10.374 \cdot \frac{10.5}{115 \cdot (1 - 0,16)} = 1,328 \text{ кА};$$

$$I_{K.VH1,2.MIN}^{(3)} = I_{K.HH1.MIN}^{(3)} \frac{U_{HH1}}{U_{VH.MAX}} = 5.435 \cdot \frac{10,5}{126} = 0,597 \text{ кА}.$$

Для упрощения расчета токов к.з. в конце присоединений результаты расчета на шинах подстанции сведём в таблицу 6.1.

Таблица 6.1 - Итоги расчета токов к.з. на шинах ГПП-2-110/10 кВ

Полученные значения	Шины 10 кВ		Шины 10 кВ		Шины 110 кВ
	1 секция	2 секция	3 секция	4 секция	
$I_{k3.max}$ , кА	10.374	10.374	10.374	10.374	1,457
$I_{k3.min}$ , кА	5.435	5.435	5.435	5.435	0,765
$X_i.max$ , Ом	0.351	0.351	0.351	0.351	3,175
$X_i.min$ , Ом	0,67	0,67	0,67	0,67	8,067

В сетях до 1000 В расчёты выполняются в соответствии с методикой, рекомендованной ГОСТом 28249 – 93. Короткие замыкания рассчитываются в четырёх точках согласно схеме, изображённой на рисунке:

- К1 – для самого мощного и самого близкого к ТП электроприёмника;
- К2 – на шинопроводе;
- К3 – на контактах ТП;
- КЗ – на контактах РП.

### 6.3 Параметры расчётной схемы:

Трансформатор Т1:

ТМЗ – 1600/10; схема соединения обмоток Y/Y<sub>0</sub>;

$$S_n = 1000 \text{ кВА};$$

$$U_{\text{HВН}} = 10,5 \text{ кВ}; \quad U_{\text{ННН}} = 0,4 \text{ кВ};$$

$$U_K = 5,5 \text{ \%};$$

$$R_T = 1,8 \text{ МОм};$$

$$X_T = 8,6 \text{ МОм}.$$

Автоматический выключатель АВ1:

$$\text{ВА50} - 45, I_H = 4000 \text{ А};$$

$$R_{\text{AB1}} = 0,1 \text{ МОм};$$

$$X_{\text{AB1}} = 0,05 \text{ МОм}.$$

Кабельная линия КЛ1:

2 кабеля ААШв - 3×150 + 1×70;

$$l = 10 \text{ м};$$

$$R_{\text{уд}} = 0,256 \text{ МОм/м};$$

$$X_{\text{уд}} = 0,063 \text{ МОм/м};$$

$$R_{\text{КЛ1}} = 10 \cdot \frac{0,256}{2} = 0,32 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{КЛ1}} = 10 \cdot \frac{0,063}{2} = 0,07875 \text{ Ом}.$$

Распределительный пункт:

РП-2;

$$R_{\text{ш}} = 0,034 \text{ Ом};$$

$$X_{\text{ш}} = 0,016 \text{ Ом}.$$

Автоматический выключатель АВ2:

$$\text{ВА57} - 43, I_H = 1600 \text{ А};$$

$$R_{\text{AB2}} = 0,14 \text{ МОм};$$

$$X_{\text{AB2}} = 0,08 \text{ МОм}.$$

Автоматический выключатель АВ3:

$$\text{ВА57} - 39, I_H = 600 \text{ А};$$

$$R_{AB3} = 0,41 \text{ мОм};$$

$$X_{AB3} = 0,13 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ2:

1 кабель ВВГ -  $3 \times 50 + 1 \times 35$ ;

$$l = 5 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 0,208 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,063 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ2} = 2,5 \cdot \frac{0,208}{2} = 0,26 \text{ Ом};$$

$$X_{КЛ2} = 2,5 \cdot \frac{0,063}{2} = 0,07875 \text{ Ом}.$$

Шинопровод:

ШРА-64  $I_H = 600 \text{ А}$

$$l = 40 \text{ м}$$

$$R_{ур} = 4 \text{ мОм};$$

$$X_{ур} = 5,2 \text{ мОм}.$$

Автоматический выключатель АВ4:

ВА57 - 35,  $I_H = 40 \text{ А}$ ;

$$R_{AB1} = 7,5 \text{ мОм};$$

$$X_{AB1} = 5 \text{ мОм}.$$

Кабельная линия КЛ3:

кабель АВВГ -  $4 \times 10$ ;

$$l = 1,5 \text{ м};$$

$$R_{уд} = 3,84 \text{ мОм/м};$$

$$X_{уд} = 0,088 \text{ мОм/м};$$

$$R_{КЛ4} = 1,5 \cdot 3,84 = 5,76 \text{ Ом};$$

$$X_{КЛ4} = 1,5 \cdot 0,088 = 0,132 \text{ Ом}.$$

Приведённые выше параметры нужны для расчёта токов КЗ в точках К1, К2 и К3.

#### 6.4 Расчёт токов КЗ

$$\text{К1: } R_{\Sigma K1} = R_{AB1} + R_{KJ1} + R_u + R_{AB2} + R_T + R_{AB3} + R_{KJ2} + R_{ШП} + R_{KJ3} + R_{AB4} = 20,324 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K1} = X_{AB1} + X_{KJ1} + X_u + X_{AB2} + X_T + X_{AB3} + X_{KJ2} + X_{ШП} + X_{KJ3} + X_{AB4} = \\ = 19.3655 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma R1} = \sqrt{R_{\Sigma K1}^2 + X_{\Sigma K1}^2} = 28,073 \text{ мОм};$$

$$I_{K1}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K1}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 28.073} = 7.82 \text{ кА};$$

$$\frac{X_{\Sigma K1}}{R_{\Sigma K1}} = 0.95 \Rightarrow K_{y K1} = 1,1;$$

$$i_{y K1} = \sqrt{2} \cdot K_{y K1} \cdot I_{K1}^{(3)} = 15.51 \text{ кА}.$$

$$\text{К2: } R_{\Sigma K2} = R_{AB1} + R_{KJ1} + R_u + R_{AB2} + R_T + R_{AB3} + R_{KJ2} + R_{ШП} = 7.064 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K2} = X_{AB1} + X_{KJ1} + X_u + X_{AB2} + X_T + X_{AB3} + X_{KJ2} + X_{ШП} = 14.2335 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma R2} = \sqrt{R_{\Sigma K2}^2 + X_{\Sigma K2}^2} = 15.89 \text{ мОм};$$

$$I_{K2}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K2}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 15.89} = 13.81 \text{ кА};$$

$$\frac{X_{\Sigma K2}}{R_{\Sigma K2}} = 2.01 \Rightarrow K_{y K2} = 1,36;$$

$$i_{y K2} = \sqrt{2} \cdot K_{y K2} \cdot I_{K2}^{(3)} = 26.56 \text{ кА}.$$

$$\text{К3: } R_{\Sigma K3} = R_{AB1} + R_{KJ1} + R_u + R_{AB2} = 0.594 \text{ мОм};$$

$$X_{\Sigma K3} = X_{AB1} + X_{KJ1} + X_u + X_{AB2} = 0.22475 \text{ мОм};$$

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 0.635 \text{ мОм};$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0.635} = 345.5 \text{ кА};$$

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0.378 \Rightarrow K_{y K3} = 1,4;$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 684.06 \text{ кА.}$$

$$K4: R_{\Sigma K4} = R_{AB1} + R_{K/П1} + R_u = 0.56 \text{ МОм;}$$

$$X_{\Sigma K4} = X_{AB1} + X_{K/П1} + X_u = 0.14475 \text{ МОм;}$$

$$Z_{\Sigma R3} = \sqrt{R_{\Sigma K3}^2 + X_{\Sigma K3}^2} = 0.578 \text{ МОм;}$$

$$I_{K3}^{(3)} = \frac{U_{HH}}{\sqrt{3} \cdot Z_{K3}} = \frac{380}{\sqrt{3} \cdot 0.578} = 379.57 \text{ кА;}$$

$$\frac{X_{\Sigma K3}}{R_{\Sigma K3}} = 0.258 \Rightarrow K_{yK3} = 1,5 ;$$

$$i_{yK3} = \sqrt{2} \cdot K_{yK3} \cdot I_{K3}^{(3)} = 805.19 \text{ кА.}$$

Таблица 6.3 – Расчетные значения токов короткого замыкания

№	Ток к.з., кА			
	K1	K2	K3	K4
ТП151	7,82	13,81	345,50	379,57
ТП151	8,13	15,05	347,81	382,13
ТП153	7,55	12,01	339,89	370,41
ТП153	7,63	12,55	341,45	372,39
ТП157	8,28	16,15	350,01	385,64
ТП157	8,01	14,82	346,03	380,58

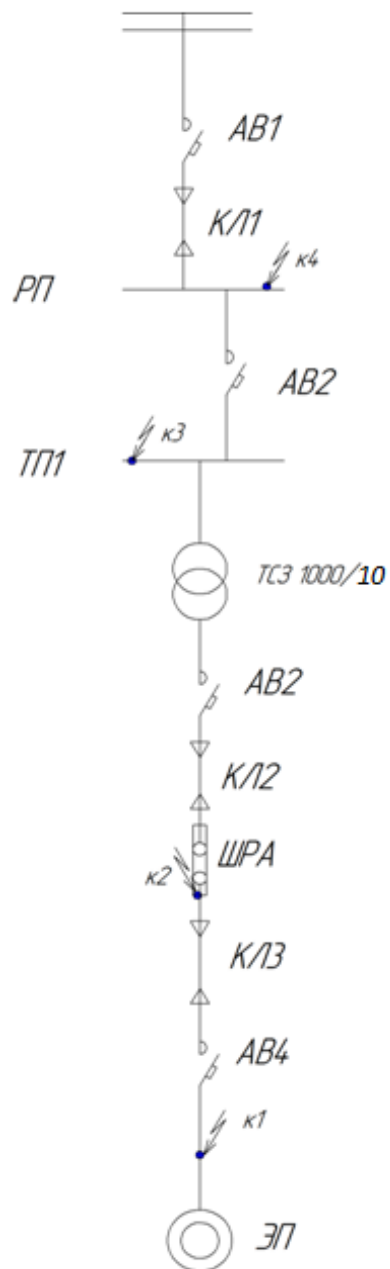


Рисунок 6.2 – Схем для расчета токов короткого замыкания до 1 кВ



## **7 Выбор оборудования**

### **7.1 Выбор оборудования закрытого распределительного устройства 10 кВ подстанции ГПП-2-1 110/10/10 кВ**

При выборе комплектного распределительного устройства (КРУ) 10 кВ для распределительного устройства 10 кВ рассмотрим два вида КРУ: с воздушной и элегазовой изоляцией. Ячейки КРУ с элегазовой изоляцией являются не обслуживаемыми и исключают доступ персонала к оборудованию, являются высокотехнологичными, но капитальные затраты на установку КРУ в два раза выше, чем с воздушной изоляцией, поэтому для установки примем ячейки КРУ с воздушной изоляцией.

Одним из лидеров среди отечественных производителей высоковольтного электротехнического оборудования является ОАО «Электрощит» г. Самара, который находится в 80 км от г. Тольятти и выпускает КРУ. Исходя из широкого применения различного встраиваемого оборудования, безопасности, высокого срока службы и надежности, а также удобства и простоты монтажа выбираем СЭЩ-68.

Достоинствами КРУ СЭЩ-68 являются:

- а) Использование унификации конструкции;
- б) В КРУ устанавливаются лучшие по параметрам «цена-качество», комплектующие;
- в) Невысокая стоимость по сравнению с зарубежными производителями;
- д) Многофункциональная система мониторинга ИНФО-СЭЩ, отображающая реальное состояние аппаратов в шкафу ;
- е) Удобное сервисное обслуживание.

Компановка комплектного распределительного устройства КРУ СЭЩ-68 представлена в таблице 7.8.

Таблица 7.8 - Список оборудования, используемого в КРУ

Наименование и производитель	Характеристики		
Коммутационные аппараты			
Выключатель вакуумный с электромагнитным (Э) или пружинно-моторным (П) приводом ВВУ-СЭЩ-Э(П)-20-20/1000У2; ВВУ-СЭЩ-Э(П)-20-20/1600У2; ВВУ-СЭЩ-Э(П)-20-31,5/2500У2; ВВУ-СЭЩ-Э(П)-10-20/1000У2; ВВУ-СЭЩ-Э(П)-10-20/1600У2; ВВУ-СЭЩ-Э(П)-10-31,5/1600У2; ВВУ-СЭЩ-Э(П)-10-40/1600У2; производства ЗАО «Группа компаний «Электроцит»-ТМ Самара» (г. Самара)	ВВУ-СЭЩ- X - XX - XX / XXXX У2 Тип привода: Э – электромагнитный, П - пружинный Номинальное напряжение, кВ (10; 20) Ном. ток отключения, кА (20; 25; 31,5; 40) Номинальный ток, А (1000; 1600; 2500; 3150; 4000)		
Выключатель вакуумный VD4 производства АBB	Номинальное напряжение 20кВ Ток отключения 25кА Номинальный ток 1600, 2000, 2500А		
Выключатель вакуумный ВВ/TEL производства РК «Таврида Электрик»: ВВ/TEL-20-16/800 У2; ВВ/TEL10-12,5/1000 У2 исп.51; ВВ/TEL10-20/1000 У2 исп.51; ВВ/TEL10-20/1600 У2 исп.70; ВВ/TEL10-25/1600 У2 исп.82	Номинальное напряжение, кВ	6; 10	20
	Номинальный ток отключения, кА	12,5; 20; 25; 31,5	16
	Номинальный ток, А	630, 800, 1000, 1600	800
Выключатель элегазовый	LF (Merlin Gerin), Evolis		
Трансформаторы тока	ТОЛ-СЭЩ ТЛШ-10 (г. Екатеринбург)		
Трансформаторы тока нулевой последовательности	ТДЗЛ-СЭЩ ТЗЛЭ-125 УХЛ2 (г. Екатеринбург) ТЗЛМ-1, ТЗЛМ-1-1 (г. Екатеринбург)		
Торы нулевой последовательности	CSH120, CSH200 (г. Москва)		
Трансформаторы напряжения*	НАЛИ-СЭЩ-10(6) , НОЛ-СЭЩ-10(6), ЗНОЛ-СЭЩ-10(6), 20		
Продолжение таблицы 7.8			
Трансформаторы собственных нужд	ОЛСП-0,63(1,25)/6(10)У2(Т2) (г. Екатеринбург) ОЛС-СЭЩ-0,63/10-1 У2 ТЛС-10-40/10У3 (ООО «Русский трансформатор»)		
Предохранители плавкие	ПКТ-VV		
Ограничители перенапряжения *	ОПН-ЭС-П-6/6.0-10/3 УХЛ2 ОПНп-6/17,4 ОПНп-10/29 (г. С.-Петербург)		
Индикатор напряжения стационарный *	СНСФ (г. Москва)		

Из выше перечисленного оборудования КРУ 10 кВ выбираем СЭЩ - 70 на номинальный рабочий ток  $I_{ном} = 630\text{А}$ . Что обеспечит запас по подключаемой мощности к данным ячейкам вновь возводимых потребителей.

Подберем оборудование для данного типа КРУ.

В КРУ – 10 кВ предлагается установить вакуумные выключатели. На вводы - выключатели фирмы “Schneider Electric” типа Evolis24 - 10 - 3150, на секционные выключатели - Evolis24 - 10 - 1600, в цепях отходящих линий - вакуумные выключатели Evolis24 - 10 - 630.

Выберем вводные выключатели с учетом перегрузок:

$$I_{p.max} = 1,4 \cdot \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = 1,4 \cdot \frac{3150}{\sqrt{3} \cdot 10,5} = 3082,8 \text{ А}$$

Определим ударный ток:

$$i_y = \sqrt{2} \cdot 17,3 \cdot 1,82 = 36,26 \text{ кА..}$$

Выбор вводных выключателей по условиям (7.1)-(7.5) сведем в таблицу 7.9.

Таблица 7.9 - Выбор вводных выключателей на стороне 10 кВ

Расчетные параметры	Каталожные данные выключателя	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} < U_{ном}$
$I_{раб.н} = 3082,8\text{А}$	$I_{ном} = 3150 \text{ А}$	$I_{раб.н} < I_{ном}$
$I_{ПО} = 17,3 \text{ кА}$	$I_{ОТКЛ} = 20 \text{ кА}$	$I_{ПО} \leq I_{ОТКЛ}$
$i_y = 36,26 \text{ кА}$	$I_{м.дин} = 40 \text{ кА}$	$i_y \leq I_{м.дин}$
$B = 17,3^2 \cdot (0,465 + 0,12) = 104,52 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$	$B_k = I_T^2 \cdot t_T = 13,1^2 \cdot 3 = 514,83 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$	$B \leq B_k$

Выключатель Evolis 24 – 10 – 3150 проходит по всем табл. 7.9.

Выберем секционные выключатели:

За максимальный рабочий ток принимаем 70 % номинального тока силового трансформатора:

$$I_{p.max} = 0,7 \cdot \frac{S_H}{\sqrt{3} \cdot U_H} = 0,7 \cdot \frac{3150}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 1541,4 \text{ А}$$

Ударный ток принимаем таким же, как и для вводного выключателя.

Выбор секционных выключателей по условиям (7.1)-(7.5) сведем в таблице 7.10.

Таблица 7.10 - Выбор секционного выключателя на стороне 10 кВ

Расчетные параметры	Каталожные данные выключателя	Условия выбора
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$	$U_{уст} < U_{ном}$
$I_{раб.н} = 1541,4 \text{ А}$	$I_{ном} = 1600 \text{ А}$	$I_{раб.н} < I_{ном}$
$I_{по} = 17,3 \text{ кА}$	$I_{откл} = 20 \text{ кА}$	$I_{по} \leq I_{откл}$
$i_y = 36,26 \text{ кА}$	$I_{м.дин} = 40 \text{ кА}$	$i_y \leq I_{м.дин}$
$B = 17,3^2 \cdot (0,465 + 0,12) = 104,52 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$	$B_k = I_T^2 \cdot t_T = 13,1^2 \cdot 3 = 514,83 \text{ (кА)}^2 \text{ с}$	$B \leq B_k$

Выключатель Evolis24 – 10 – 1600 проходит по всем условиям таблицы 7.10.

Далее выберем трансформаторы тока (ТА):

Таблица 7.11 – Расчетные и каталожные данные трансформатора тока ТПЛ 10 кВ

Расчёт	Паспорт: ТПЛ-СЭЩ 10 кВ
$U_{уст} = 10 \text{ кВ}$	$U_{ном} = 10 \text{ кВ}$
$I_{max} = 2055 \text{ А}$	$I_{ном} = 2500 \text{ А}$
$i_{y0} = 25,33 \text{ кА}$	$I_{дин} = 100 \text{ кА}$
$B_k = 1,85 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$	$B_k = 4800 \text{ кА}^2 \cdot \text{с}$

Данные с КИП представлены в таблице 7.12.

Таблица 7.12 – Данные контрольно-измерительных приборов

№ п/п	Прибор	Тип	S прибора [В·А]
1	Амперметр	ЭА-0702	0,5
2	Счетчик активной энергии	СЭТ-4ТМ	3,6
3	Счетчик реактивной энергии	СЭТ-4ТМ	3,6
4	Варметр	Н-395	2
5	Ваттметр	Ц-301/1	0,5
	Итого		10,2

Расчет вторичной нагрузки трансформатора тока:

$$r_{\text{приб}} = \frac{10,2}{5^2} = 0,45 \text{ Ом.}$$

Для ТОЛ-10 кВ в классе 0,5  $Z_{2\text{ном}} = 1,2 \text{ Ом.}$

Допустимое сопротивление провода:

$$r_{\text{пров}} = Z_{2\text{ном}} - r_{\text{приб}} - r_{\text{к}};$$

$$r_{\text{пров}} = 1,2 - 0,45 - 0,1 = 0,65 \text{ Ом.}$$

$$\text{Тогда: } q = \frac{\rho \cdot \sqrt{3} \cdot l_{\text{расч}}}{r_{\text{пров}}};$$

$$q = \frac{(0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 60)}{0,65} = 4,51 \text{ мм.}$$

$$r_{\text{пров}} = \frac{0,0283 \cdot \sqrt{3} \cdot 60}{5} = 0,59 \text{ Ом.}$$

Активное сопротивление, вторичной нагрузки, подключенной к ТТ  
 Принимаем ТПЛ-10-3/3000 УЗ

$$r_2 = 0,45 + 0,59 + 0,1 = 1,14 \text{ Ом}$$

Принимаем ТПЛ-10-3/3000 УЗ.

Трансформаторы напряжения (ТН).

Выбор трансформаторов напряжения сводим в табл. 7.13.

Таблица 7.13 - Выбор трансформаторов напряжения

Наименование и тип прибора	Мощность одной катушки	Число катушек	cos φ	sin φ	Число приборов	Общая мощность	
						P, Вт	Q, Вар
Вольтметр	2	1	1	0	1	2	-
Ваттметр	1,5	2	1	0	1	1,5	-
Счетчик активный	2,5	2	0,38	0,925	13	24,7	60,13
Счетчик реактив.	2,5	2	0,38	0,925	12	22,8	55,5
Варметр	1,5	2	1	0	1	1,5	-
Итого						52,5	128,5

$$S_2 = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{52,5^2 + 128,5^2} = 138,81 \text{ ВА}$$

Выбираем трансформатор типа НАМИТ-10  $S_{2\text{ном}}=200 \text{ ВА}$  класс точности 0,5.

## 8 Релейная защита ГПП-2 110/10/10 кВ.

Для данного присоединения:

$$I_{k1\max} = 12214 \text{ A}, I_{k2\max} = 7360 \text{ A}$$

$$I_{k1\min} = 8369 \text{ A}, I_{k2\min} = 5886 \text{ A}.$$

Выберем уставку для токовой отсечки:

Ток срабатывания:

$$I_{\text{с.з.то}} = K_{\text{отс}} \cdot I_{k2.\max} = 1,1 \cdot 7360 = 8096 \text{ A}.$$

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р}} = \frac{I_{\text{с.з.то}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_T} = \frac{8096 \cdot 1}{50} = 161,92 \text{ A}.$$

Принимаем к уставке на терминале защит  $I_{\text{с.р.у}} = 162 \text{ A}$ , с действием на отключение.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{\text{с.з.у}} = K_T \cdot I_{\text{с.р.у}} = 162 \cdot 50 = 8100 \text{ A}.$$

Коэффициент чувствительности:

$$K_{\text{ч.о}} = 0,87 \cdot \frac{I_{k1\min}}{I_{\text{с.з.у}}} = 0,87 \cdot \frac{8369}{8100} = 0,9 \leq 1,5.$$

Проверим коэффициент чувствительности по трехфазному току:

$$K_{ч.о} = \frac{Ik1 \min}{I_{с.з.у}} = \frac{8369}{8100} = 1,03 \leq 1,5 .$$

Не чувствительна.

Выберем уставку для максимальной токовой защиты:

Ток срабатывания:

$$I_{с.з} \geq \frac{K_H}{K_E} \cdot K_{сзн} \cdot I_{РАБ,МАХ} = \frac{1,1}{0,96} \cdot 1,8 \cdot 245,95 = 507,27 \text{ А} .$$

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з} \cdot K_{сх}}{n_T} = \frac{507,27 \cdot 1}{50} = 10,15 \text{ А} .$$

Принимаем к уставке на терминале защит  $I_{с.р} = 10,2 \text{ А}$  , с действием на отключение.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{с.з.у} = K_T \cdot I_{с.р.у} = 10,2 \cdot 50 = 510 \text{ А}$$

Коэффициент чувствительности в основной зоне защиты:

$$K_{ч.о} = 0,87 \cdot \frac{Ik1 \min}{I_{с.з.у}} = 0,87 \cdot \frac{8369}{510} = 14,28 \geq 1,5 \quad , \text{ условие выполняется}$$

Коэффициент чувствительности в резервной зоне защиты:

$$K_{ч.р} = 0,87 \cdot \frac{Ik2 \min}{I_{с.з.у}} = 0,87 \cdot \frac{5886}{510} = 10,04 \geq 1,2 \quad , \text{ условие выполняется}$$

Время срабатывания МТЗ принимаем  $t_{сз} = 0,4 \text{ с}$ .



Выберем уставки для защиты от перегрузки:

Ток срабатывания:

$$I_{C3} \geq \frac{K_n}{K_v} \cdot I_{РАБ,МАХ} = \frac{1,1}{0,96} \cdot 245,95 = 281,82 \text{ A}.$$

Ток срабатывания реле:

$$I_{C.P} = \frac{I_{C3} \cdot K_{сх}}{n_T} = \frac{281,82 \cdot 1}{50} = 5,64 \text{ A}.$$

Принимаем к уставке на терминале защит  $I_{с.р.у} = 5,7 \text{ A}$ , с действием на отключение.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{с.з.у} = K_T \cdot I_{с.р.у} = 10,2 \cdot 5,7 = 58,14 \text{ A}.$$

Время срабатывания защиты принимаем  $t_{сз} = 30 \text{ с}$ .

Выберем уставки для защиты от замыкания на землю:

Длина кабельной линии  $l = 3,04 \text{ км}$ .

Емкостной ток линии:

$$I_C = m \cdot l \cdot I_{C3.0} = 1 \cdot 3,04 \cdot 1,6 = 4,86 \text{ A}.$$

Ток срабатывания в начальный момент времени  $t = 0 \text{ с}$ :

$$I_{с.з.} = K_{отс} \cdot K_{бр} \cdot I_C = 1,2 \cdot 4 \cdot 4,86 = 23,33 \text{ A}.$$

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р}} = \frac{I_{\text{с.з}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_T} = \frac{23,33 \cdot 1}{50} = 0,46 \text{ А.}$$

Ток срабатывания в момент времени  $t = 4$  с:

$$I_{\text{с.з.}} = K_{\text{отс}} \cdot K_{\text{бр}} \cdot I_{\text{с}} = 1,2 \cdot 1,5 \cdot 4,86 = 8,75 \text{ А.}$$

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{\text{с.р}} = \frac{I_{\text{с.з}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_T} = \frac{8,75 \cdot 1}{50} = 0,175 \text{ А.}$$

Наиболее полная карта уставок будет представлена на Листе 4 графической части проекта.

### 8.1 Выбор уставок на секционных и вводных выключателях

Выберем уставки для секционных выключателей:

Наибольший ток для секционного выключателя:

$$I_{\text{р.макс}} = 0,7 \cdot \frac{S_{\text{н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{н}}} = 0,7 \cdot \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 2020 \text{ А.}$$

Определим суммарное сопротивление нагрузки:

$$X_{\text{НАГР.СУММ}} = \frac{U_{\text{нн}}^2}{S_{\text{НОМ}} - S_{\text{ДВ}}} = \frac{6,3^2}{31500 \cdot 0,7 - 5698} \cdot 1000 = 13,27 \text{ Ом.}$$

$$X_{\text{ЭК}} = \frac{X''_{\text{д}} \cdot k \cdot X_{\text{НАГР.СУМ}}}{X''_{\text{д}} + k \cdot X_{\text{НАГР.СУМ}}} = \frac{2,27 \cdot 0,9 \cdot 13,27}{2,27 + 0,9 \cdot 13,27} = 1,91 \text{ Ом.}$$

Минимальное сопротивление источника питания на 2 секции шин  
 $X_{\text{нн.мин}} = 0,728 \text{ Ом.}$

Выберем уставки для МТЗ:

Ток срабатывания:

$$I_{\text{СЗ}} \geq \frac{K_{\text{отс}}}{K_{\text{в}}} \cdot K_{\text{сзн}} \cdot I_{\text{РАБ.МАХ}} = \frac{1,1}{0,96} \cdot 0,985 \cdot 2020 = 2632,96 \text{ А}.$$

$$I_{\text{СЗ.ПОСЛ.}} \geq K_{\text{нс}} \cdot (I_{\text{СЗ.ПРЕД.}} + \sum I'_{\text{РАБ.МАХ}}) = 1,1 \cdot (1010 + 1623) = 2896,3 \text{ А}.$$

Из двух токов выбираем максимальный и дальнейший расчет ведем по нему.

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{\text{С.Р}} = \frac{I_{\text{СЗ}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_{\text{T}}} = \frac{2896,3 \cdot 1}{160} = 18,1 \text{ А}.$$

Принимаем к уставке на терминале защит  $I_{\text{с.р.у}} = 18,1 \text{ А}$ , с действием на отключение.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{\text{с.з.у}} = K_{\text{T}} \cdot I_{\text{с.р.у}} = 18,1 \cdot 160 = 2896 \text{ А}.$$

Коэффициент чувствительности в основной зоне защиты:

$$K_{\text{ч.о}} = 0,87 \cdot \frac{Ik1 \text{ min}}{I_{\text{с.з.у}}} = 0,87 \cdot \frac{8369}{2896} = 2,51 \geq 1,5 \quad , \text{ условие выполняется.}$$

Коэффициент чувствительности в резервной зоне защиты:

$$K_{\text{ч.р}} = 0,87 \cdot \frac{Ik2 \text{ min}}{I_{\text{с.з.у}}} = 0,87 \cdot \frac{4679}{2896} = 1,41 \geq 1,2 \quad , \text{ условие выполняется.}$$

Время срабатывания МТЗ принимаем  $t_{\text{сз}} = 0,6 \text{ с}$ .

Выберем уставки для защиты от перегрузки:

Согласно (8.10) ток срабатывания:

$$I_{\text{СЗ}} \geq \frac{K_{\text{н}}}{K_{\text{в}}} \cdot I_{\text{РАБ,МАХ}} = \frac{1,1}{0,96} \cdot 769,8 = 882,1 \text{ А}.$$

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{\text{С.Р}} = \frac{I_{\text{СЗ}} \cdot K_{\text{сх}}}{n_{\text{Т}}} = \frac{882,1 \cdot 1}{160} = 5,51 \text{ А}.$$

Принимаем к уставке  $I_{\text{с.р.у}} = 5,6 \text{ А}$ , с действием на отключение.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{\text{с.з.у}} = K_{\text{Т}} \cdot I_{\text{с.р.у}} = 5,6 \cdot 160 = 896 \text{ А}.$$

Время срабатывания защиты принимаем  $t_{\text{сз}} = 60 \text{ с}$ .

Расчет уставок защит сведем в таблицу 8.3.

Выберем уставки для вводных выключателей:

Наибольший ток для вводного выключателя:

$$I_{\text{р.мах}} = 1,4 \cdot \frac{S_{\text{Н}}}{\sqrt{3} \cdot U_{\text{Н}}} = 1,4 \cdot \frac{31500}{\sqrt{3} \cdot 6,3} = 3108 \text{ А}.$$

Определим суммарное сопротивление нагрузки:

$$X_{\text{НАГР.СУММ}} = \frac{U_{\text{НН}}^2}{S_{\text{НОМ}} - S_{\text{ДВ}}} = \frac{6,3^2}{31500 - 5698} \cdot 1000 = 7,71 \text{ Ом}.$$

Минимальное сопротивление источника питания на первой секции шин

$$X_{\text{НН.мин}} = 0,728 \text{ Ом}$$

Определим коэффициент самозапуска из формулы:

$$K_{сзн} = \frac{U_{нн}}{\sqrt{3} \cdot (K_{нн, \text{MIN}} + X_{ЭК}) \cdot I_{\text{раб.мах}}} = \frac{6300}{\sqrt{3} \cdot (0,728 + 1,71) \cdot 3108} = 2,26.$$

Выберем уставки для максимальной токовой защиты:

Ток срабатывания:

$$I_{сз} \geq \frac{K_{отс}}{K_{\epsilon}} \cdot K_{сзн} \cdot I_{\text{РАБ.МАХ}} = \frac{1,1}{0,96} \cdot 2,26 \cdot 1539,6 = 3986,92 \text{ А}.$$

$$I_{сз, \text{ПОСЛ.}} \geq K_{нс} \cdot (I_{сз, \text{ПРЕД.}} + \sum I'_{\text{РАБ.МАХ}}) = 4369,1 \text{ А}.$$

Из двух токов выбираем максимальный.

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{с.р} = \frac{I_{сз} \cdot K_{сх}}{n_T} = \frac{4369,1 \cdot 1}{240} = 18,2 \text{ А}.$$

Принимаем к уставке  $I_{с.р.у} = 18,2 \text{ А}$ , с действием на отключение.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{с.з.у} = K_T \cdot I_{с.р.у} = 18,2 \cdot 240 = 4368 \text{ А}.$$

Коэффициент чувствительности в основной зоне защиты:

$$K_{ч.о} = 0,87 \cdot \frac{Ik1 \text{ min}}{I_{с.з.у}} = 0,87 \cdot \frac{8369}{4368} = 1,67 \geq 1,5, \text{ условие выполняется}$$

Коэффициент чувствительности в резервной зоне защиты:

$$K_{ч.р} = 0,87 \cdot \frac{Ik2 \text{ min}}{I_{с.з.у}} = 0,87 \cdot \frac{4679}{4368} = 0,93 \leq 1,2, \text{ условие не выполняется}$$

Время срабатывания МТЗ принимаем  $t_{сз} = 0,8 \text{ с}$ .

Выберем уставки для защиты от перегрузки:

Ток срабатывания:

$$I_{с.з} \geq \frac{K_n}{K_v} \cdot I_{РАБ,МАХ} = \frac{1,1}{0,96} \cdot 1099,7 = 1374,6 \text{ А}.$$

Вычислим ток срабатывания реле:

$$I_{с.р} = \frac{I_{с.з} \cdot K_{сх}}{n_T} = \frac{1374,6 \cdot 1}{240} = 5,73 \text{ А}.$$

Принимаем к уставке  $I_{с.р.у} = 5,7 \text{ А}$ , с действием на сигнал.

Тогда ток срабатывания на первичной стороне будет:

$$I_{с.з.у} = K_T \cdot I_{с.р.у} = 5,7 \cdot 240 = 1392 \text{ А}.$$

Время срабатывания защиты принимаем  $t_{сз} = 60 \text{ с}$ .

Итоги выбора уставок вводных выключателей сводим в таблицу.

Расчет защит для четырех секций шин сводим в таблицу 8.1.

Таблица 8.1 - Расчет защиты шин

Наименование величины	Обозначение	Секция шин	
		I	II
Максимальный ток короткого замыкания	$I_{кмах}$	12214	13665
Максимальный ток небаланса	$I_{нб}$	1221,4	1366,5
Ток срабатывания защиты	$I_{с.з.}$	1465,68	1639,8
Ток срабатывания реле	$I_{с.р.}$	6,1	6,8
Коэффициент чувствительности	$K_{ч}$	4,98	4,44
Время срабатывания	$t_{с.з.}$	0	0

## Заключение

В данном дипломном проекте был рассмотрен вопрос системы электроснабжения корпуса 01/26 цеха по производству головки блока и блока цилиндров двигателей Н4 ОАО «АвтоВАЗ». Рассмотрен вопрос выбора главной понизительной подстанции, как источника электроснабжения данного предприятия. Выполнены расчеты электрических нагрузок и токов КЗ. По ним были рассчитаны и выбраны оборудование, устанавливаемое в распределительных устройствах ЗРУ-10 кВ понизительной подстанции ГПП-2, трансформаторы и оборудование цеховых трансформаторных подстанций, распределительного пункта РП-2 10 кВ, схема электроснабжения предприятия и питающие линии.

Выбрано и рассчитано электрооборудование системы электроснабжения корпуса 01/26. Рассмотрен вопрос защиты персонала от короткого замыкания на корпус оборудования и выбраны необходимые элементы, в соответствии со спецификой работы данного предприятия и необходимым требованиям защиты.

Цели и задачи данной бакалаврской квалификационной работы достигнуты

## Список используемых источников

1. Правила устройства электроустановок. 7-е изд. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004
2. Правила технической эксплуатации электроустановок потребителей. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2004.
3. Рекомендации по технологическому проектированию подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. - М.: Энергия, 2012. - 108 с.
4. Руководящие указания по расчету токов короткого замыкания и выбору электрооборудования: РД 153-34.0-20.527-98/ под ред. Б.Н. Неклепаева. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2006.
5. Федеральный закон "Об электроэнергетике" от 26.03.2003 № 35-ФЗ с изм. и допол. в ред. от 29.12.2014
6. Кудрин, Б.И. Электроснабжение. Учебник. - М.: Academia, 2015. - 352 с.
7. Конюхова, Е.А. Электроснабжение. Учебник. - М.: МЭИ, 2014. - 512 с.
8. Шабад, В.К. Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах. Учебное пособие. - М.: Academia, 2013. - 192 с.
9. Сибикин, Ю.Д. Пособие к курсовому и дипломному проектированию электроснабжения промышленных, сельскохозяйственных и городских объектов. Учебное пособие. - М.: Форум, 2015. - 384 с.
10. Коробов, Г.В., Картанцев, В.В., Черемисинова, Н.А. Электроснабжение. Курсовое проектирование. Учебное пособие, 2-е изд. испр. и доп. - М.: Лань, 2011. - 192 с.
11. Степкина, Ю. В., Вахнина, В. В. Высоковольтное оборудование станций и подстанций: учеб. пособие. - Тольятти: ТГУ, 2006. - 49 с.
12. Вахнина, В. В. Положение о выпускной квалификационной работе бакалавров: учеб.-метод. пособие для студентов направления 140200 "Электроэнергетика". - Тольятти: ТГУ, 2009. - 15 с.



13. Вахнина, В. В., Степкина, Ю. В., Самолина, О. В. Требования к выпускной квалификационной работе бакалавров: учеб.-метод. пособие; - Тольятти : ТГУ, 2012. - 31 с.
14. Анчарова, Т.В., Рашевская, М.А., Стебунова, Е.Д. Электроснабжение и электрооборудование зданий и сооружений. Учебник. - М.: Форум, 2014. - 416 с.
15. Ерошенко, Г.Н., Кондратьева, Н.П. Эксплуатация электрооборудования. Учебник. - М.: Инфра-М, 2014. - 336 с.
16. Дайнеко, В.А., Забелло, Е.П., Прищепова, Е.М. Эксплуатация электрооборудования и устройств автоматики: Учебное пособие. Гриф МО РФ. - М.: Инфра-М, 2015. - 333 с.
17. Грунтович, Н.В. Монтаж, наладка и эксплуатация электрооборудования. Учебное пособие. - М.: Инфра-М, 2015. - 271 с.
18. Варварин, В.К. Выбор и наладка электрооборудования. Справочное пособие. - М.: Форум, 2015. - 240 с.
19. Васильева, Т. Н. Надежность электрооборудования и систем электроснабжения. - М.: Горячая линия-Телеком, 2015. - 152 с.
20. Mcdonald, J. D. Electric Power Substations Engineering / J. D. Mcdonald [и др.]. – Майями: CRC Press Taylor & Francis Group, 2012. – 593с
21. Hewitson, Leslie G. Practical System Protection (Practical Professional Books) / L. G. Hewitson. – Newnes, 2005. – 290 с.
22. Gers, J. M. Protection of Electricity Distribution Networks, 3rd Edition (Energy Engineering) / J. M. Gers, E. D. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2011. – 368 с.
23. Lakervi, E. Electricity Distribution Network Design, 2nd Edition (Energy Engineering) / E. Lakervi, E. J. Holmes. - The Institution of Engineering and Technology, 2005. – 338 с.
24. Bayliss, C. Transmission and Distribution Electrical Engineering / C. Bayliss, B. Hardly. – Newnes, 2012. – 1180 с.